

**DISEÑO DE UN HORNO PARA LA COCCIÓN DE LADRILLOS  
CERÁMICOS UTILIZANDO GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE Y  
CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO**

**ELKIN ELIAS FIGUEROA PARRA  
JAIRO MARTINEZ DELGADO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.**

**2000**

**DISEÑO DE UN HORNO PARA LA COCCIÓN DE LADRILLOS  
CERÁMICOS UTILIZANDO GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE Y  
CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO**

**ELKIN ELIAS FIGUEROA PARRA**

**JAIRO MARTINEZ DELGADO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingenieros**

**Mecánicos**

**Director**

**HELBERT CARILLO**

**Ingeniero Mecánico**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.**

**2000**

Cartagena de Indias, Octubre 8 de 1999

Señores

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA**  
**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**  
Ciudad

Estimados señores:

Me permito presentar el proyecto de grado titulado "DISEÑO DE UN HORNO PARA LA COCCIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS UTILIZANDO GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO", realizado por los estudiantes ELKIN ELIAS FIGUEROA PARRA y JAIRO MARTINEZ DELGADO del cual soy director.

Gracias por la atención prestada.

Cordialmente,

---

**HELBERT CARRILLO**  
**Ing. Mecánico**

Cartagena de Indias, Octubre 8 de 1999

Señores

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA**  
**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**  
Ciudad

Estimados señores:

Nos permitimos presentar el proyecto de grado titulado **DISEÑO DE UN HORNO PARA LA COCCIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS UTILIZANDO GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO**, como requisito para obtener el título de Ingenieros Mecánicos.

Agradeciendo la atención prestada.

Atentamente,

---

**ELKIN E. FIGUEROA PARRA**

---

**JAIRO MARTINEZ DELGADO**

## **ARTICULO 105:**

La Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, y no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Cartagena, Octubre 8 de 1999

## **DEDICATORIA**

A Dios y a mi Familia.

**ELKIN E. FIGUEROA PARRA**

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarme todo lo que poseo en la vida y permitirme culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A la memoria de mi abuelo “El Paisa”, por su amor y confianza durante los años que Dios le permitió compartir conmigo.

A mi madre por ese amor inmenso que siempre me ha brindado, por su confianza y por creer en mi.

A Patri, mi novia, por su apoyo y consejos en los momentos más difíciles, por su amor.

A mi padre y hermanos.

**JAIRO MARTINEZ DELGADO**

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

- HELBERT CARRILLO, Ingeniero Mecánico, docente de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, quien participó como director del Proyecto.
  
- JUSTO RAMOS, Ingeniero Mecánico, Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.
  
- LUIS ALBERTO BELLO R., Ingeniero Mecánico, egresado de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, por su apoyo y colaboración.
  
- ALBERTO MUÑOZ, Ingeniero Civil, por la ayuda brindada.
  
- ROBERTO LORA, Director de la biblioteca de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, y a todo el personal que en ella labora.

- Nuestro agradecimiento especial al señor JUSTO DE LA ESPRIELLA, dueño y gerente de la LADRILLERA LA CLAY por la colaboración que al proyecto realizó.
  
- ANTONIO AVILA Ingeniero Químico, por su colaboración en la parte del proceso de cocción.
  
- A todas aquellas personas y entidades que por su colaboración permitieron producir este trabajo de la mejor forma posible.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	1
1. HORNOS DE COMBUSTIÓN PARA LA COCHURA DE LADRILLOS	3
1.1. GENERALIDADES	3
1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS HORNOS DE COMBUSTIÓN PARA LA COCHURA DE LADRILLOS	4
1.2.1. Hornos Intermitentes	5
1.2.1.1. Hornos de Campaña	5
1.2.1.2. Horno Rural	7
1.2.1.3. Hornos de Llama Rasante	7
1.2.1.4. Hornos Redondos o de Llama Invertida	8
1.2.2. Hornos Continuos con zona móvil de cochura	9
1.2.2.1. Hornos Anular de Hoffmann	9
1.2.3. Hornos Continuos de zona fija de cochura	10
1.2.3.1. Hornos de Túnel	10
1.3. CONSTRUCCIÓN DE HORNOS DE COMBUSTIÓN	10

1.3.1. Propiedades de los materiales para la construcción de hornos.	10
1.3.2. Materiales utilizados en la construcción de hornos	13
1.3.3. Métodos de construcción de hornos	15
1.4. DISPOSICIÓN DE LAS PIEZAS EN LOS HORNOS	16
2. LADRILLOS CERAMICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN	17
2.1. DEFINICIÓN	17
2.2. CARACTERISTICAS GENERALES	17
2.3. CLASIFICACIÓN	18
2.3.1. Ladrillos ordinarios o Ladrillos comunes	18
2.3.2. Ladrillos huecos o Ladrillos perforados	19
2.3.3. Ladrillos de Paramento	20
2.3.4. Ladrillos Porosos	21
2.3.5. Ladrillos Vitrificados o Cincas	21
2.3.6. Tejas	21
3. COCHURA DE LOS LADRILLOS	23
3.1. GENERALIDADES	23
3.2. COMPORTAMIENTO DE LOS LADRILLOS DURANTE LA COCHURA	26
3.2.1. Alteraciones en el color de los ladrillos	27
3.3. FASES DE LA COCHURA DE LOS LADRILLOS	28
3.3.1. Caldeo de los ladrillos	28

3.3.2. Cocción de los ladrillos	29
3.3.3. Enfriamiento de los ladrillos	30
3.4. CURVA DE TEMPERATURA DEL HORNO DE COMBUSTIÓN	31
3.4.1. Velocidad de cocción de los ladrillos	31
3.5. DEFECTOS DE LAS PIEZAS COCIDAS	32
4. GAS NATURAL	34
4.1. GENERALIDADES DE LOS GASES COMBUSTIBLES	34
4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS GASES COMBUSTIBLES	36
4.2.1. Primera Familia	36
4.2.2. Segunda Familia	36
4.2.3. Tercera Familia	36
4.3. GENERALIDADES DEL GAS NATURAL	37
4.3.1. Características	37
4.3.2. Gas natural de la Guajira	39
4.3.3. Aplicaciones del Gas Natural	40
5. DISEÑO DE UN HORNO PARA LA COCHURA DE LADRILLOS UTILIZANDO GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE	42
5.1. DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE HORNO SELECCIONADO PARA EL DISEÑO	42
5.2. COMPONENTES BASICOS DEL SISTEMA	46
5.2.1. Tuberías	46

5.2.2. Quemadores de Gas	46
5.2.3. Chimenea y Ductos	48
5.2.4. El tiro de los hornos	49
5.2.5. Instrumentos para la observación, registro y control del horno	54
5.3. CRITERIOS DEL DISEÑO	55
5.3.1. Determinación de la velocidad de avance de la llama	57
5.4. DISEÑO	58
5.4.1. Determinación del espesor de las paredes del horno	58
5.5. CANTIDAD DE CALOR NECESARIA EN EL HORNO DE LADRILLOS	72
5.5.1. Consumo útil	72
5.5.2. Pérdidas por las paredes	73
5.5.3. Calor acumulado en las paredes del horno	76
5.5.4. Pérdidas de calor de los humos	78
5.6. CANTIDAD DE COMBUSTIBLE PARA EL PROCESO	82
6. CALCULO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA	84
6.1. DIMENSIONES DE LOS DUCTOS, COLECTORES Y CHIMENEAS	84
6.2. SELECCIÓN DEL EQUIPO QUEMADOR	87
6.3. TUBERIAS DE GAS	88
6.4. DETERMINACIÓN DEL TIRO EN EL HORNO	91
6.5. VALVULA REGULADORA	96

6.6. SELECCIÓN DEL MORTERO	97
6.7. SELECCIÓN DE TERMOCUPLAS	97
6.8. SELECCIÓN DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO	98
7. OPERACIÓN DEL HORNO	99
7.1. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN	99
8. MANTENIMIENTO	104
9. CONCLUSIÓN	108
BIBLIOGRAFIA	110
ANEXOS	112

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición Química del Gas Natural de la Guajira.	39
Tabla 2. Resultado de Iteraciones.	81
Tabla 3. Resumen de Cálculos de calores.	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los Ladrillos en un Horno Hormiguero.	6
Figura 2. Horno de Llama Rasante.	8
Figura 3. Horno Redondo de Llama Invertida.	8
Figura 4. Variedad del Horno Hoffmann (Horno en zigzag).	9
Figura 5. Tipos de ladrillos comunes.	19
Figura 6. Ladrillos Huecos o Perforados.	20
Figura 7. Tipos de Tejas en Arcilla.	22
Figura 8. Curva de Calentamiento y Enfriamiento de los Ladrillos.	32
Figura 9. Sección transversal del Horno Continuo.	44
Figura 10. Compuertas del Horno.	45
Figura 11. Configuración de la Pared Externa del Horno.	60
Figura 12. Características Parte Externa del Horno.	62
Figura 13. Características Parte Interna del Horno.	63
Figura 14. Características Capa Interna del Horno.	64
Figura 15. Características Capa Intermedia del Horno.	65
Figura 16. Características Capa Externa del Horno.	66

Figura 17. Configuración de la Pared Separadora del Horno en dos galerías 67

Figura 18. Configuración del Techo provisional del Horno. 69

Figura 19. Tuberías de Gas. 90

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Características Gas Natural en Colombia.	113
Anexo B. Características del Ladrillo Refractario Aislante.	114
Anexo C. Dimensiones Estándar de Ladrillos Refractarios Aislantes.	116
Anexo D. Equipo Quemador.	118
Anexo E. Factor de Compresibilidad.	125
Anexo F. Viscosidad de Gases.	126
Anexo G. Dimensiones de Tuberías.	127
Anexo H. Diagrama de Moody.	128
Anexo J. Propiedades de los Humos.	129
Anexo K. Morteros Refractarios.	130
Anexo L. Termocuplas y Tubos Protectores.	131
Anexo M. Distribución de los Ladrillos dentro del Horno.	132
Anexo N. Dimensiones Modulares de Ladrillos Cerámicos.	133

## RESUMEN

Una de la aplicación más importante de la transferencia de calor se encuentra en el cálculo y diseño de hornos usados en diferentes procesos de carácter industrial. El arte de la construcción de estas unidades se desarrolló antes que la teoría, y el cálculo de la transferencia de calor de estos hornos evolucionó inicialmente a partir de métodos empíricos.

En este proyecto titulado “DISEÑO DE UN HORNO PARA LA COCCION DE LADRILLOS UTILIZANDO GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO” se realiza el diseño de un horno, basado no en los métodos empírico, sino basados en cálculos teóricos y en otros muchos factores que influyen a menudo en la disposición de éstos.

El trabajo está formado por una serie de conceptos que son muy importantes conocer para proceder al diseño adecuado de un horno que satisfaga las exigencias planteadas o cumplierse con los objetivos inicialmente anotados.

Estos conceptos están distribuidos en los capítulos que conforman el proyecto final, como lo son: principios básicos de los diferentes tipos de hornos utilizados para la cocción de piezas cerámicas, también se hace referencia a los materiales o productos para someter a cochura, características geométricas. Igualmente se hace anotación al proceso de cocción definiendo todas las variables que influyen la buena realización de éste. Posteriormente se realizan todos los procedimientos de cálculos y selección para el diseño de todo el sistema y al final se presentan los procedimientos para la operación y el mantenimiento del horno diseñado.

Todo el diseño de horno de combustión fue realizado basado en textos especializados en este tema, y con la ayuda de personas con gran experiencia y conocimiento en el proceso.

## INTRODUCCIÓN

El Ladrillo hizo su aparición, en la antigüedad, en todos aquellos países donde faltaba la piedra y abundaba la arcilla. Adoptó diversas formas, y su empleo se hizo, bien en forma constructiva de expresión propia, o bien imitando los materiales de piedra.

Los ladrillos de la remota antigüedad estaban hechos a base de una pasta de arcilla, secada al sol, en la que entraban proporciones más o menos grandes de arena y paja, que constituían, por decirlo así, la estructura de la masa; posteriormente se obtuvieron ladrillos a base de pasta cocida al fuego.

Fue de esta forma como aparece aquel proceso que convierte el material moldeado irreversiblemente en un producto duro, resistente al agua y a los productos químicos y al que se le denominó Cocción.

Para la realización adecuada de la cochura de los ladrillos se emplean diferentes tipos de estructuras cerradas denominadas hornos, a las cuales se les aplica calor mediante la quema o combustión de un combustible.

Para obtener un producto cerámico de buena calidad, será necesario un tipo adecuado de horno, un buen combustible y una buena regulación en el proceso de cocción.

# **1. HORNOS DE COMBUSTIÓN PARA LA COCHURA DE LADRILLOS**

## **1.1. GENERALIDADES**

Un horno de combustión es un dispositivo que convierte la energía química de un combustible en calor, con el propósito de elevar la temperatura de los materiales ubicados en su interior. Estos combustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos.

La selección del mejor combustible para el horno debe basarse en la limpieza del funcionamiento, en su adaptabilidad al control de la temperatura, en la mano de obra requerida y en el efecto de cada combustible sobre el material que ha de calentarse y sobre el revestimiento del horno.

Los combustibles mas empleados en la producción del calor en los hornos de combustión para la cochura de ladrillos son:

1. Madera y carbón vegetal.
2. Hulla.
3. Carbón mineral.
4. Gas natural.

5. Propano.

6. Fuel - oil, entre otros.

Para el secado de piezas cerámicas<sup>1</sup>, este puede llevarse a cabo al aire libre por circulación natural de aire, a la temperatura ambiente. El empleo de estructuras cerradas y la aplicación de calor aceleran el proceso. En cambio, la cochura de los materiales debe hacerse siempre en estructuras cerradas con aplicación de calor, habiéndose construido hornos de algún tipo desde los comienzos de la alfarería, los cuales se reconocen a veces en excavaciones de lugares prehistóricos.

## **1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS HORNOS DE COMBUSTIÓN PARA LA COCHURA DE LADRILLOS**

Cuanto mayores sean las dimensiones de los ladrillos, con tanta mayor lentitud se habrá de elevar la temperatura y dejar enfriar aquellos; los artículos cuyo enfriamiento se ha realizado lentamente, son tenaces y muy resistentes a las acciones mecánicas, y por el contrario, un enfriamiento rápido los hace frágiles, hasta el punto de que si han sido enfriados con demasiada premura se rompen a veces espontáneamente sin la intervención de agentes mecánicos exteriores.

---

<sup>1</sup> Entiéndase por cerámica a los objetos que se hacen con arcilla.

Las consideraciones que preceden, añadidas a las derivadas de las necesidades de capacidad, mayor o menor permanencia de la explotación, posibilidades de su aplicación o modificación, hay que tenerlas muy en cuenta en la clase de horno en empleo, a elegir o diseñar. En la cerámica de ladrillos se emplean dos tipos principales de hornos: hornos intermitentes y continuos. Casi todas las variedades son de contacto directo de llama.

Los hornos para la cochura de ladrillos pueden clasificarse del siguiente modo:

- Hornos Intermitentes; hornos de campaña, horno de llama horizontal y hornos redondos.
  
- Hornos continuos con zona móvil de cochura; horno de Hoffmann, hornos de gas con llama rasante y hornos continuos con llama ascendente y descendente.
  
- Hornos continuos de zona fija de cochura; horno de túnel.

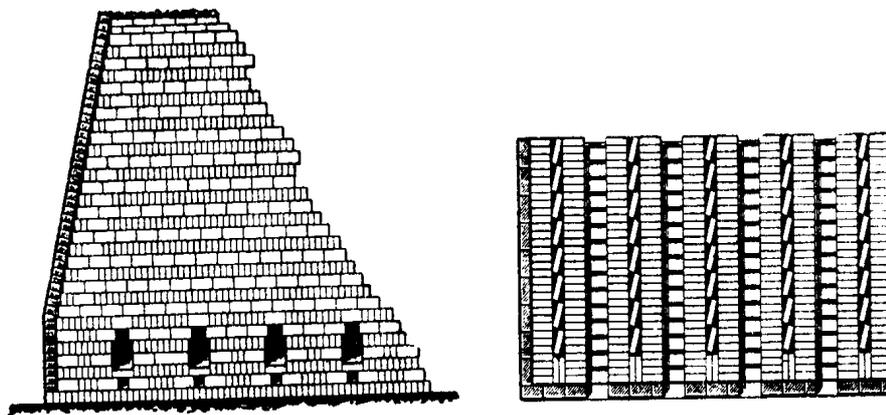
### **1.2.1. Hornos Intermitentes.**

**1.2.1.1. Hornos de Campaña.** El horno, por llamarlo así, más antiguo de campaña es el de hormiguero. No por antiguo ha dejado de emplearse este procedimiento de

cocer ladrillos, que continua siendo de utilidad allí donde no halla otra clase de horno ni valga la pena de instalarlo dada la poca producción a obtener. Es más, se ha llegado a emplear y se emplea, algunas veces, en grandes fábricas donde por un exceso de pedidos a servir se destinan los hornos continuos a la fabricación de ladrillos huecos y los macizos los cuecen en hormigueros.

La figura 1 presenta la forma como van distribuido los ladrillos dentro de un horno hormiguero.

La única ventaja de los hormigueros consiste en que se pueden cocer de una vez gran número de ladrillos y sin desembolso alguno para la construcción del horno.

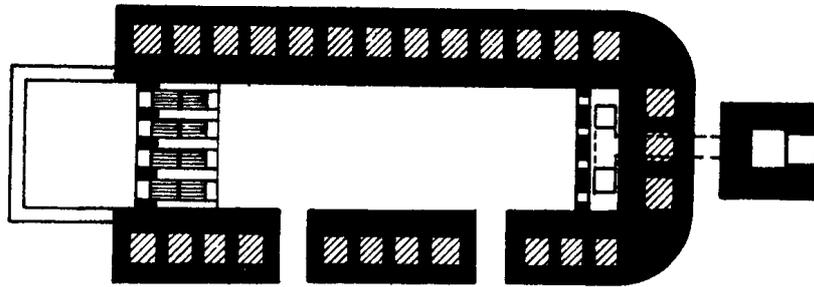


**Figura 1. Distribución de los Ladrillos en un Horno Hormiguero**

**1.2.1.2. Horno Rural.** Este tipo de horno de campaña es muy sólido y consiste en cuatro paredes gruesas, correspondientes a una planta rectangular sin cubrir. La altura del horno es de un orden de 3,5 a 4 m. Las caras longitudinales tienen aberturas para avivar el fuego que se prolonga en el interior y conducen los productos de la combustión.

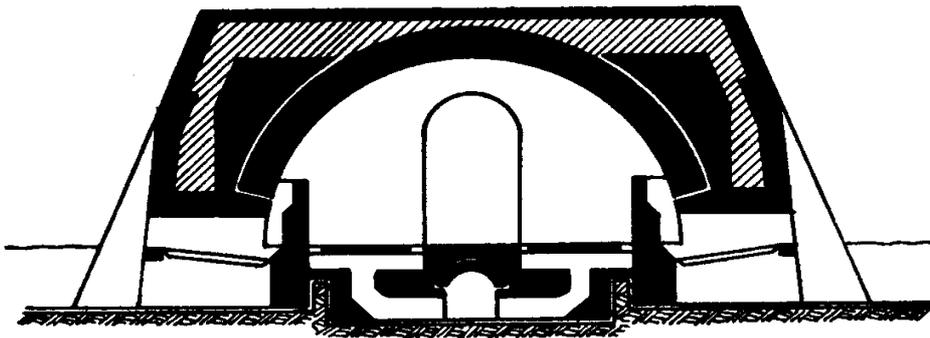
Cuando, tal como se ha mencionado, carecen de techo estos hornos, los ladrillos se recubren con dos capas de ladrillos crudos y una capa superior de tierra de unos 20 cm de espesor; en esta cubierta se dispondrá un cierto número de pequeñas chimeneas; tapando más o menos éstas con ladrillos se obtiene la posibilidad de regular el fuego. El consumo de combustible de estos hornos es muy grande.

**1.2.1.3. Horno de Llama Rasante.** Se diferencia del anterior en que tiene una disposición alargada, en que necesita menos fuego y en que la llama está obligada a pasar horizontalmente por entre los ladrillos, para lograr cuya marcha es indispensable una chimenea.



**Figura 2. Horno de Llama Rasante.**

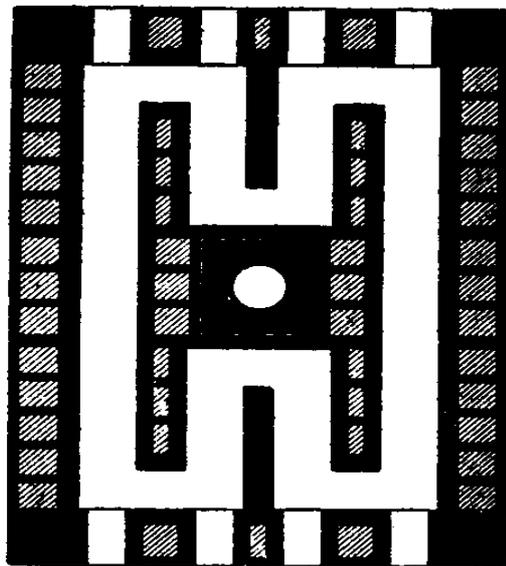
**1.2.1.4. Hornos Redondos o de Llama Invertida.** Se emplean principalmente para la cocción de materiales especiales, como tejas, ladrillos o baldosines vitrificados, tubos, etc., que requieran una elevada temperatura de cocción. Una ventaja de estos hornos es que el combustible y sus residuos no están en contacto inmediato con el producto.



**Figura 3. Horno Redondo de Llama Invertida.**

## 1.2.2. Hornos continuos con zona móvil de cochura.

**1.2.2.1. Horno Anular de Hoffmann.** El horno de Hoffmann original consistía en una galería circular de unos 44 m (144 pies) de longitud media, con doce compuertas dispuestas equidistantes alrededor de la pared exterior, y doce entradas de conductos de humos controladas por reguladores en la pared interior. Los conductos desembocaban en una cámara de retención de humos, y de aquí iban a una chimenea. Este tipo de horno fue proyectado para cocer ladrillos que puedan soportar un íntimo contacto con el combustible ardiente, y la alimentación se dispuso a través de orificios en el techo, como lo muestra la figura 4.



**Figura 4. Variedad del Horno Hoffmann (Horno en zigzag).**

### **1.2.3. Hornos continuos de zona fija de cochura.**

**1.2.3.1. Hornos de Túnel.** La concepción de este horno responde a la idea de constituir una zona de fuego o laboratorio fijo y hacer pasar por él los productos a cocer. Ello supone, por lo menos, la ventaja inicial del ahorro de calorías, pérdidas en el enfriamiento y recalentamiento de las cámaras de los hornos anulares corrientes. Añádase a esto la notable economía de mano de obra en la carga y descarga de los ladrillos en las vagonetas que circulan por el horno, la mayor rapidez de cochura debida a no tener que enfriar y calentar de nuevo la zona de fuego, la economía que supone revestir únicamente con buen ladrillo refractario la zona citada, la sencillez de servicio del horno una vez conseguido el régimen de cochura y la economía de terreno para una forma determinada.

## **1.3. CONSTRUCCIÓN DE HORNOS DE COMBUSTIÓN**

**1.3.1. Propiedades de los materiales para la construcción de hornos.** La elección de materiales para construcción de hornos es difícil dado que no existe producto alguno que sea “el mejor” en todos los casos. Deben valorarse cuidadosamente las condiciones de servicio, tales como: temperatura máxima de trabajo; velocidad de variación de la temperatura; carga máxima; abrasión debida a las cenizas, etc.; ataque por humos, vapores, escorias, atmósfera oxidante o

reductora. Todo ello demuestra que debe conocerse más de una propiedad de los materiales de construcción y elegirse la combinación más adecuada para lograr un servicio duradero.

Los materiales básicos utilizados son cerámicos en si mismos, consistiendo en ladrillos, bloques y perfiles refractarios, aislantes y comunes. A estos debe añadirse morteros, mezclas apisonadas y hormigón.

Las exigencias de la construcción de hornos cerámicos implican generalmente el conocimiento de las siguientes propiedades.

- **Refractariedad en servicio:** Esto es, la temperatura máxima que el material puede soportar durante períodos de tiempo prolongados, en ocasiones repetidas y bajo la carga de la estructura que descansa sobre él, más un factor de seguridad. Generalmente se dispone de datos referentes al cono pirométrico equivalente, que no tiene utilidad directa, y de los mas útiles relativos a la temperatura de deformación bajo una carga dada, y a la deformación a una temperatura determinada. Debe conocerse también el coeficiente de expansión térmica a fin de establecer juntas de dilatación suficientes para dar estabilidad a la estructura.

- **La resistencia térmica al resquebrajamiento o resistencia al choque térmico:**

Es un factor importante, puesto que un material que soporte bien temperaturas elevadas, pero, se agriete si se enfría rápidamente, carece de utilidad en un horno periódico de ciclo corto. La resistencia de los materiales al resquebrajamiento se da con frecuencia sólo en términos cualitativos, tales como “excelente”, “buena”, “aceptable”, etc.

- **Resistencia a la abrasión y al impacto:** Diferentes partes de un horno sufren un tratamiento muy variado durante el servicio, debido a la acción de la carga de combustible sólido, cenizas y polvo transportado por el aire, etc.

- **Resistencia a escorias, humos, etc.:** Los refractarios se clasifican con criterios amplios en ácidos, neutros o básicos de acuerdo con su resistencia a las escorias ácidas y básicas, siendo los neutros resistentes al menos parcialmente a ambas.

- **Propiedades de Construcción:** Debe conocerse todo lo relativo a las propiedades de soporte de carga tanto en frío como en caliente, junto con la densidad aparente, posibilidad de contracción, expansión reversible, conductividad térmica y calor específico, a fin de tomar decisiones sobre espesor de pared y métodos de construcción.

**1.3.2. Materiales utilizados en la construcción de hornos.** Los diversos morteros, mezclas para apisonado, mezclas para pulverización y parcheo, etc., necesarios para la construcción y el mantenimiento de los diferentes tipos de hornos deben seleccionarse con igual cuidado que los refractarios propiamente dichos.

- **Los Morteros Refractarios:** Se utilizan en construcciones de hornos para establecer unión y cierre entre ladrillos y bloques refractarios. Tienen que absorber las irregularidades que puedan existir en las superficies que deben unir, e impedir por completo el paso de gas a través de las juntas, todo ello con un espesor total mínimo. En general la calidad, composición y refractariedad del mortero deberán asemejarse a las de los ladrillos que han de unir. Sus propiedades de expansión deben ser también comparables.

- **Los Termoadhesivos:** Son materiales que pueden aplicarse como los morteros pero contienen fundentes, de tal modo que funden durante el servicio. Se utilizan para tapar grietas y poros, obturar cubiertas, puertas, etc.

- **Las mezclas para apisonar:** Se emplean para revestimientos de hornos y hogares monolíticos, para reemplazar molduras especiales complicadas en bóvedas y aberturas, etc., y para reparar daños de cualquier tamaño o forma sin necesidad de desmontar todos los ladrillos dañados.

- **Los revestimientos y revoques refractarios:** Pueden aplicarse a brocha o a pistola sobre superficies de mampostería<sup>2</sup> calientes o frías a fin de protegerlas contra las escorias o el ataque abrasivo, y en particular para mantener intactas las juntas.

- **Concretos Refractarios:** Son mezclas de materiales refractarios molidos con adecuada granulometría y aditivos ligantes. Los concretos desarrollan inicialmente liga hidráulica, que les confiere buenas propiedades mecánicas en frío y con el incremento de la temperatura se desarrolla liga cerámica, la que les confiere alta resistencia mecánica en el uso.

Los concretos tienen amplia aplicación en la construcción rápida de mampostería monolíticas en hornos y calderas, en reparación de revestimientos desgastados, en la construcción de puertas y tapas de hornos y para el vaciado de formas especiales o de gran tamaño.

- **Anclajes:** Son piezas metalizadas o refractarias, que tienen por finalidad asegurar la estabilidad de una estructura molítica.

---

<sup>2</sup> Mampostería: Obra de albañilería hechas en piedras o ladrillos unidos por una mezcla de cal, arena y agua.

Los anclajes metálicos, generalmente usados con los concretos, son de acero fundido o laminado y especificados para espesores de revestimiento monolítico inferiores a 230 mm. La calidad del acero depende del tipo de concreto y de las condiciones de operación del horno.

- **Aislamientos de hornos:** La necesidad de aprovechar al máximo el combustible consumido en cualquier proceso que haya de ser económico está siempre patente. Se pierde una gran cantidad de calor a través de las paredes de los hornos, contruidos tradicionalmente a base de ladrillo refractario y ladrillo de construcción, por conducción a través de la mampostería seguida por radiación. Un adecuado aislamiento de la estructura puede reducir estas pérdidas a una cantidad despreciable, y además contribuye a mantener el horno a una temperatura más uniforme y hace mucho más agradable las condiciones de trabajo en la proximidad de los hornos.

**1.3.3. Métodos de construcción de hornos.** Las paredes de los hornos se construyen en mampostería con juntas de dilatación. Usualmente se construyen con diferentes materiales en capas o revestimientos. En ocasiones la pared es totalmente maciza, sean uno o varios los materiales que la componen. Otras veces el revestimiento refractario y la estructura exterior son independientes y pueden estar separados por un espacio relleno con un material aislante suelto.

#### **1.4. DISPOSICIÓN DE LAS PIEZAS EN LOS HORNOS**

La colocación o disposición de las piezas en los hornos está también sujeta a cierto número de consideraciones y varía considerablemente. Los factores que deben de tenerse en consideración son, en primer lugar, si las piezas pueden, o no, someterse al contacto directo con las llamas y los gases de combustión producidos al quemar el combustible.

El segundo factor de importancia consiste en si las piezas pueden o no apilarse unas sobre otras hasta alcanzar la altura total del horno. Los ladrillos, etc., pueden por lo general apilarse de dicho modo. Muchas otras piezas pueden apilarse sólo en pequeña altura, por lo que requieren ciertos soportes intermedios.

## 2. LADRILLOS CERAMICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

### 2.1. DEFINICIÓN<sup>3</sup>

Se denomina **ladrillo** a toda pieza pequeña, maciza o prácticamente maciza, por lo común en forma de prisma rectangular, formada a base de sustancias inorgánicas, no metálicas y endurecida a su forma acabada por acción térmica.

### 2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los productos cerámicos de ladrillería se caracterizan por la constitución porosa de sus diversas partes, que son absorbentes de agua, están coloreadas desde el amarillo al rojo vivo, no transparente y tienen una rotura de aspecto térreo o vítreo. Algunos artículos, de acuerdo con su fin como material de construcción, deben ser resistentes a la intemperie y cumplir ciertas condiciones de resistencia a la compresión y permeabilidad al agua.

---

<sup>3</sup> Definición publicada por el comité de Nomenclatura y Definición de la ASTM. MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico. VIII Edición. Volumen I.

Las características generales de todo buen ladrillo cerámico son:

- ✓ Un moldeo perfecto.
- ✓ Una ausencia completa de grietas.
- ✓ Estar bien cocido y, por consiguiente, ser muy sonoro a la percusión.
- ✓ Una estructura porosa.
- ✓ Agarrar bien el mortero, y
- ✓ No contener sales solubles.

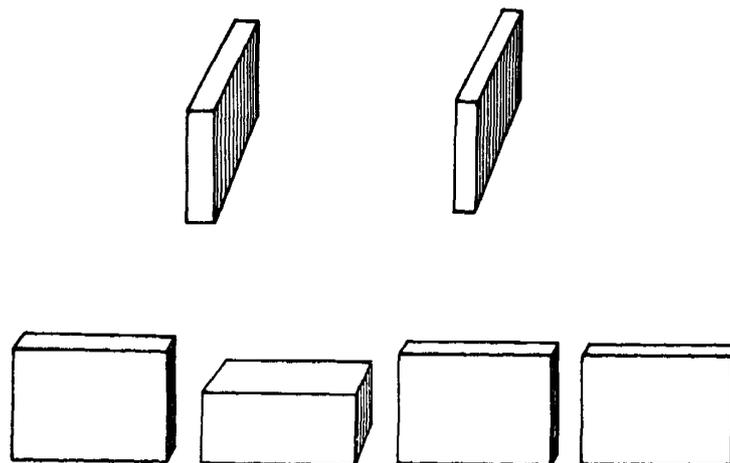
### **2.3. CLASIFICACIÓN**

Los productos de la cerámica ladrillera se pueden clasificar en:

- Ladrillos ordinarios o comunes.
- Ladrillos huecos o ladrillos perforados.
- Ladrillos de paramento.
- Ladrillos porosos.
- Ladrillos clincas.
- Tejas.

**2.3.1. Ladrillos ordinarios o ladrillos comunes.** Esta clase de ladrillos, son los fabricados en gran escala, en los cuales no se toma cuidado especial alguno en la

fabricación a fin de evitar manchas superficiales, son utilizados en la construcción, en donde el aspecto no tiene ninguna importancia.



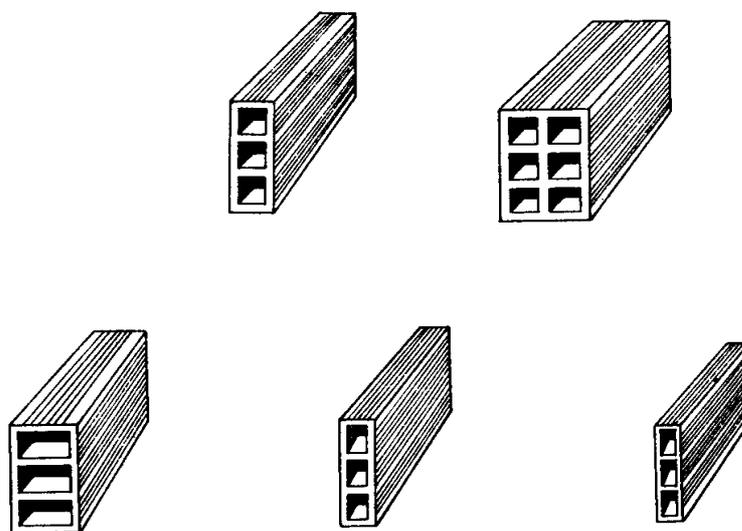
**Figura 5. Tipos de ladrillos comunes.**

Estos ladrillos, moldeados a mano o con prensa, tienen sus superficies lisas, mas o menos ásperas.

**2.3.2. Ladrillos huecos o ladrillos perforados.** Son ladrillos o bloques con grandes cámaras de aire regulares rodeadas y separadas por paredes relativamente finas. Todos estos ladrillos presentan sus orificios en dirección paralela a las caras longitudinales de las piezas. Su uso se da en la construcción de paredes, especialmente cuando se requieran ligereza de peso y/o buen aislamiento térmico,

también son muy prácticos para el relleno de las estructuras, especialmente de hormigón armado.

Los ladrillos huecos más empleados son.



**Figura 6. Ladrillos Huecos o Perforados.**

**2.3.3. Ladrillos de Paramento.** Estos ladrillos pueden ser macizos o huecos; su superficie de paramento ha de ser muy lisa, por lo que tienen que estar muy bien moldeados. Su empleo principal, tal como indica el nombre del ladrillo, se hace en las caras de paramento visto de los edificios. La arcilla empleada en la fabricación de estos ladrillos es, en muchos casos, apropiada de por sí para las condiciones de belleza e inalterabilidad que deben tener estos ladrillos.

**2.3.4. Ladrillos Porosos.** En la cocción de estos ladrillos moldeados a base de arcillas grasas y materiales orgánicos, estos últimos se queman, dando lugar a la porosidad deseada. El ladrillo poroso es aislante del calor y del ruido. La superficie de estos ladrillos es muy áspera, pero sus cantos quedan bien definidos. Sus dimensiones son, generalmente, algo más pequeñas que las del ladrillo corriente; y su resistencia a la compresión es menor que la de éste.

**2.3.5. Ladrillos Vitrificados o Clinkas.** Bajo este nombre se entienden los productos cerámicos cocidos, que, a consecuencia de su composición, preparación y cochura, pueden dar altas características de compacidad, resistencia y estabilidad. Estos ladrillos se emplean en los paramentos exteriores de edificios, en construcciones bajo el agua, en revestimiento de depósitos de agua, en estercoleros y desagües, en pilastras y columnas muy cargadas, en adoquinados de calles, entre otras.

**2.3.6. Tejas.** Su empleo mas corriente se da para la construcción de techos, especialmente en los sectores históricos o antiguos de algunas ciudades.

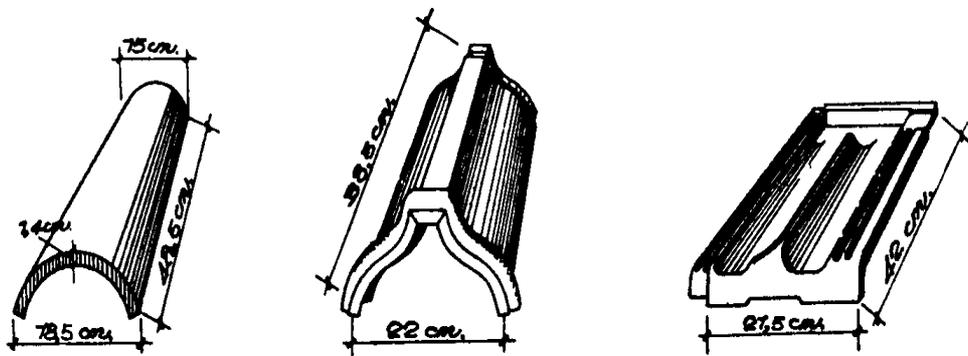


Figura 7. Tipos de Tejas en Arcilla.

### 3. COCHURA DE LOS LADRILLOS

#### 3.1. GENERALIDADES

Antes de tratar todo lo relacionado con el proceso de cochura de los ladrillos, anotaremos seguidamente sobre la materia prima empleada en la confección del ladrillo; la arcilla, algunas generalidades y los procesos que anteceden al de cocción.

**La arcilla** para la fabricación de ladrillos existe en casi todas partes. Esta gran disponibilidad en materia prima es indudablemente una ventaja de la industria ladrillera.

Los constituyentes principales de la arcilla son la sílice, la alúmina y los productos hidratados de la descomposición de las rocas aluminosas y silicatadas; la arcilla no es la expresión genuina del terreno en donde procede y la diversidad de su origen es la causa de la variedad de sus clases.

El constituyente más importante de las arcillas industriales es la arcilla pura, que se compone de 47% de sílice, 39% de alúmina y 14% de agua. La arcilla pura

constituye propiamente el aglutinante de todos los elementos restantes de las arcillas industriales.

Las arcillas impuras empleadas en ladrillería se clasifican en magras y grasas. Las impurezas son las que determinan esta clasificación en función de la mayor o menor plasticidad.

Los procesos de gran importancia, que preceden a la cochura de los ladrillos son:

1. Extracción de las arcillas.
2. Tratamiento de la arcilla.
3. Moldeado de los ladrillos, y
4. Secado de los ladrillos.

**1. Extracción de las arcillas.** La arcilla se encuentra en todas partes, pero tiene que ser buena y estar en lugar apropiado. La localización en principio de un yacimiento se hace, algunas veces, por observación de simples signos exteriores del terreno: Cortes del mismo en los caminos, arado superficial de la zona en cuestión, etc. Una vez determinado el yacimiento de arcilla a explotar y comprobada la bondad de ésta, esto es suficiente para emprender la explotación.

**2. Tratamiento de la arcilla.** La arcilla a emplear en la fabricación de ladrillos ha de ser triturada, a fin de poderla llevar a un estado de homogeneidad consigo misma y de uniformidad de mezcla con los materiales desgrasantes, caso de ser éstos necesarios. En este proceso, del que tanto depende la bondad del ladrillo obtenido, se tiene que eliminar de la arcilla todos los nódulos de materiales nocivos o hacerlos inofensivos.

El estado de homogeneidad de una masa plástica a base de arcilla da a entender que en ella se encuentran entremezcladas íntimamente las partes grasas y magras de la misma, y que sus partículas duras se han ablandado a consecuencia de una completa penetración de la humedad en ellas. Todo esto supone una mayor dificultad en la obtención de la homogeneidad cuanto menor sea la cantidad de agua que contienen las arcillas. En este principio fundamental, muchas veces olvidado, estriba la dificultad de implantación de algunos métodos de fabricación, como el de pasta dura o en seco, en los que se requieren arcillas, tratamientos y máquinas especiales.

Los tratamientos<sup>4</sup> a los cuales es sometida la arcilla hasta llevarla a un estado de homogeneidad son los siguientes:

---

<sup>4</sup> Mayor información acerca de estos tratamientos se encuentra en el Libro La Industria Ladrillera. Pedro Reverté. Edit. Reverté.

- a. Invernaje y estiaje de las arcillas.
- b. Reposo o madurado de las arcillas.
- c. Podrido de las arcillas.
- d. Levigado de las arcillas.

### **3.2. COMPORTAMIENTO DE LOS LADRILLOS DURANTE LA COCHURA**

Las modificaciones en la masa de los ladrillos, a medida que se va elevando la temperatura en los hornos, son de carácter físico y químico.

El ladrillo moldeado pierde, a 120°, el resto de agua intercalada entre los poros de la arcilla. Esta cantidad de agua, restante de la desecación, es muy importante y explica muchos desastres ocurridos en la fase de cochura.

El agua combinada químicamente en la arcilla abandona al ladrillo a los 200 - 300°C de temperatura; el ladrillo se endurece y ya no se reblandece al sumergirlo en agua. Si aumenta la temperatura se queman entonces los componentes orgánicos y se desprende el anhídrico carbónico del carbonato cálcico presente.

Cuando la temperatura ha ascendido a unos 800 - 1000°C, correspondientes al grado máximo de cochura<sup>5</sup>, se denota la porosidad en la masa y una disminución de peso a consecuencia de las modificaciones que se han ido desarrollando desde que empezó el ladrillo a calentarse.

Hasta los 1000°C, aproximadamente y según la mayor o menor cantidad de fundentes de la arcilla, empieza el reblandecimiento o la llamada vitrificación de la arcilla, en este fenómeno se hace notar una disminución o anulación de la porosidad del ladrillo, aumentando la dureza del producto obtenido.

Hay que tener en cuenta que no todos los ladrillos se contraen en su cochura, pues pueden, por el contrario, dilatarse si en su masa hay cuarzo o sustancias bituminosas.

**3.2.1. Alteraciones en el color de los ladrillos.** Los colores grisáceos y claros de los ladrillos crudos desaparecen en la cochura para dar ocasión a otros, variables según la mayor o menor cantidad de cal u óxido de hierro contenidos en la arcilla y según la capacidad más o menos oxidante o reductora de las llamas y gases. Los ladrillos aluminosos y pobres en hierro toman un color claro y los que contienen hierro en cantidad pueden tomar colores comprendidos entre el amarillo y color

---

<sup>5</sup> Entiéndase para un caso particular de arcillas, para otras puede superar o no alcanzar este valor.

oscuro de cuero. Las arcillas ricas en cal y pobres en hierro toman, para una temperatura reducida de cochura, un color rojizo, y, para temperatura elevada, un color amarillo. Si se sigue aumentando la temperatura se llega a un color verdoso o grisáceo.

La composición de los gases de combustión tienen también mucha influencia en el color de los ladrillos. Si dichos gases tienen exceso de oxígeno, los ladrillos de arcilla con contenido en hierro toman una tonalidad rojiza. Si los gases, en vez de ser oxidantes, fueran reductores, es decir, fueran deficientes en oxígeno, los ladrillos tomarán una tonalidad oscura.

### **3.3. FASES DE LA COCHURA DE LOS LADRILLOS**

Las fases de la cochura de los ladrillos son tres: Caldeo, Cocción y Enfriamiento.

Las tres requieren condiciones y precauciones especiales.

**3.3.1. Caldeo de los Ladrillos:** En esta fase se elimina paulatinamente el agua libre e higroscópica de los ladrillos. Los ladrillos sin cocer y con un grado avanzado de sequedad son higroscópicos, es decir, absorben la humedad del ambiente.

El agua contenida en el ladrillo se elimina con calor en forma de vapor mediante aportación durante el caldeo de cantidades de aire constantemente renovadas y aumentando paulatinamente la temperatura. El caldeo se considera terminado cuando los ladrillos han adquirido en toda su masa una temperatura de unos 100°. Naturalmente, como la arcilla es mala conductora del calor hay que preveer temperaturas mayores para el aire de caldeo.

Si, como desgraciadamente sucede en los hornos, llega un momento en que el aire es más frío que los ladrillos, se condensa en éstos la humedad del aire. Esto, cuando menos, da ocasión a una decoloración y afeamiento del ladrillo, pues esta humedad condensada favorece la acción del ácido sulfuroso y de las cenizas sobre la arcilla. A veces estas condensaciones, cuando los ladrillos que se cargan en los hornos no están completamente secos y la cochura no es debidamente regulada, son de tal importancia que arruinan los ladrillos que no están en condiciones de soportar altas temperaturas.

**3.3.2. Cocción de los Ladrillos:** En esta fase se completan las reacciones químicas de los componentes de la masa de los ladrillos se evacua el agua de combinación, los ladrillos sufren una ligera contracción y adquieren la estructura característica que da fuerza al ladrillo cuando está frío. En la cochura de casi todos los productos cerámicos hay dos fases, la cochura propiamente dicha y el gran fuego. Estas fases

son mas o menos largas según la clase de arcilla y los espesores del ladrillo. La temperatura de cochura de los ladrillos es de unos 1000°C, aproximadamente, variando según la clase de arcilla empleada; en la fabricación de ladrillos corrientes, raramente se llega a los 1400°C.

**3.3.3. Enfriamiento de los Ladrillos:** Esta es la fase final del proceso de cocción de los ladrillos; en ella, la temperatura máxima alcanzada en la cochura ha de descender hasta la normal de un modo paulatino. Este descenso o pérdida de incandescencia se hace en los hornos intermitentes por cerrado de todas las aberturas del horno y es de máxima importancia para la obtención de una dureza y colorido uniformes y para la tenacidad características en los ladrillos vitrificados.

Cuando se fabriquen productos con cubiertas vidriadas, conviene saber que el enfriamiento de éstos, no puede ser muy largo, para evitar que la cubierta pierda brillo, y por el contrario, tampoco puede ser muy corto para evitar el cuarteamiento de dicha cubierta.

En general, el enfriamiento ha de hacerse cuidadosamente pues muchas arcillas son muy sensibles en esta fase, especialmente en la fabricación de tejas y ladrillos huecos.

### **3.4. CURVA DE TEMPERATURA DEL HORNO DE COMBUSTION**

La curva de temperatura de un horno da una idea clara del funcionamiento del mismo y del tratamiento térmico experimentado por cada clase de ladrillo; es como si la curva fuese una imagen del proceso que ha sufrido el producto obtenido.

**3.4.1. Velocidad de Cocción de los Ladrillos.** Las velocidades de deshidratación y de formación de fases en las arcillas comunes durante el aumento de la temperatura, la dilatación y el rápido enfriamiento de los productos pueden ser muy considerables. Durante el periodo más peligroso del desprendimiento del agua higroscópica es preciso aumentar moderadamente la temperatura en 50°C u 80°C por hora hasta 125°C, donde el desprendimiento de agua será de unos 200 gramos/hora. El inicio de las reacciones hasta los 800°C puede removerse elevando la temperatura 300°C por hora en un tiempo aproximado de tres horas. La zona correspondiente a la combustión del combustible en el producto a 800°C - 850°C, se puede durar dos horas. El incremento de temperatura de 850°C - 1000°C se efectúa en dos horas.

En el enfriamiento el descenso de la temperatura hasta 500°C puede efectuarse paulatinamente (no más de 150°C por hora) debido a la aparición de tensiones peligrosas. De allí en adelante la velocidad de enfriamiento puede ser muy rápida.

Dependiendo de la clase de arcilla la etapa de cocción puede realizarse de diez a doce horas. En la siguiente figura se presenta una curva de calentamiento y enfriamiento de los ladrillos, para un horno continuo.

**Figura 8. Curva de Calentamiento y Enfriamiento de los Ladrillos**

**3.5. DEFECTOS DE LAS PIEZAS COCIDAS**

Los defectos que se observan en las piezas cocidas pueden deberse, o no a una cochura defectuosa. La cochura hace aparecer las eventuales tensiones, deformaciones y manchas introducidas durante la preparación, moldeo y secado, al mismo tiempo que pueden ser origen de ulteriores defectos.

Los defectos de la cochura propiamente dicha son:

- a) Periodo de desprendimiento visible (humeo) del agua; rotura de las piezas por una separación de agua excesivamente rápida, y su ensuciamiento de la superficie de otras piezas por condensación cargada de impurezas.
- b) Hinchamiento debido a sinterización antes que hayan tenido lugar diversas descomposiciones con desprendimiento de gasas.
- c) Se producen grietas durante el período de humeo del agua, durante períodos de variaciones rápidas de volumen y en el transcurso del enfriamiento.
- d) El núcleo negro se debe a una combustión incompleta del carbono y/o oxidación incompleta del hierro por debajo de la temperatura de descomposición del óxido férrico con lo cual silicatos ferrosos más fusibles vitrifican el centro de la pieza.

## **6. CALCULO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA**

## 6.1. DIMENSIONES DE LOS DUCTOS, COLECTORES Y CHIMENEA

Para el diseño y dimensionamiento de los ductos, colectores y chimenea, se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- Temperatura de salida de los gases.
- Flujo volumétrico de los gases de combustión.
- Velocidad de los productos de la combustión.
- Características de los gases de combustión.

Conocido ya el flujo de combustible a quemar, se determinará el volumen de gases de combustión mediante la siguiente ecuación:

$$V_g = 10,5 * V_{G.N.C.},$$

Si  $V_{G.N.C} = 103 \text{ m}^3/\text{hr}$  y se considerará un 15% de exceso de aire suministrado en la cámara para la combustión, tendremos:

$$V_g = 10,51 * (103) * (1,15)$$

$$V_g = 1245 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

Este es el volumen de humos que pasaran a través de los ductos y chimeneas y saldrán a la atmósfera.

◀ **Ductos:** La dimensión de los ductos será:

$$A_D = \frac{V_g}{v}, \text{ considerando } v^9 = 5 \text{ m/seg. Y para un doble del}$$

caudal tendremos:

$$A_D = \frac{2490}{5 * 3600}$$

donde:  $A_D = 0,14 \text{ m}^2$

◀ **Colectores:** En caso crítico, de quema simultánea de cinco cámaras, las cuales enviaran a través de sus cinco ductos los gases a los colectores; por consiguiente:

$$A_C = \frac{V_{gc}}{v},$$

$$A_c = \frac{5(2490)}{5 * 3600}$$

Donde:  $A_c = 0,7 \text{ m}^2$

---

<sup>9</sup> MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico. Octava ed. Volumen II. Mc Graw Hill. Santafé de Bogotá. 1984, p. 7-51

◀ **Dimensión de la Chimenea:** La sección transversal de la chimenea para un consumo dado de combustible, puede calcularse por la fórmula:

$$E = \frac{0,0068 * W}{\sqrt{H}}, \quad \text{Ecuación (11)}$$

siendo:

$E = \text{Sección eficaz} = A - 0,6 \sqrt{A}, \text{ m}^2$

$W = \text{Consumo de combustible, Kg/hr.}$

$A = \text{Sección real de la chimenea, m}^2$

$H = \text{Altura de la chimenea, 20 m (Altura considerada según las normas ambientales)}$

Reemplazando en la ecuación (11), tendremos:

$$E = \frac{0,0068 * 496}{\sqrt{20}}$$

$E = 0,754 \text{ m}^2$ , y la sección real se deducirá de:

$$A - 0,6 \sqrt{A} = 0,754$$

$(\sqrt{A})^2 - 0,6(\sqrt{A}) - 0,754 = 0$ , donde:

$$\sqrt{A} = \frac{0,6 + \sqrt{(0,6)^2 + 4,754}(1)}{2}$$

$$\sqrt{A} = 1,2189$$

Resultando  $A = 1,48 \text{ m}^2$

Con esta sección obtenida para la chimenea, podrán circular los gases de combustión con facilidad.

## 6.2. SELECCIÓN DE EQUIPO QUEMADOR

Conocido: Caudal de gas a quemar,  $V_{G.N.C.} = 103 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$ ,

Potencia con el caudal de gas,  $927.000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$  (Pot. =  $V_{G.N.C.} * Hi$ )

Caudal de aire para el proceso:  $980 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$

Temperatura máxima a alcanzar,  $1100^\circ\text{C}$

Número máximo de inyectores, 8

Potencia por quemador =  $115.875 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$

El equipo quemador seleccionado de acuerdo a los valores anteriores es:

GRUPO DE GAS CON AIRE FORZADO. T2/GV.

CON INYECTORES DE GAS TIPO H2-G. (Los demás datos técnicos del equipo se encuentran en el Anexo D).

### 6.3. TUBERIAS DE GAS

El caudal de gas, se considerará por efectos de seguridad y sobrediseño cuatro veces

el valor obtenido para el proceso,  $Q = 4 V_{G.N.C.} = 4(103) = 412 \frac{m^3}{hr} : (14550 \frac{Pies^3}{hr})$ .

Se considerará que las pérdidas máximas permitidas a través de la tubería sea de 2 lb/Pulg<sup>2</sup>. (Recomendación hecha por SURTIGAS S.A.).

La presión exigida a la empresa distribuidora de gas será de 25 lbs/Pulg<sup>2</sup>. (39.6 psia).

Para la determinación del diámetro de la tubería de gas que alimenta a cada cámara del horno, para el proceso de cocción de los ladrillos, nos apoyamos en la formula:

$$Q = 2237 D^{2.623} \left[ \frac{(P_1^2 - P_2^2) Y}{C_r L} \right] \quad \text{Ecuación (12)}$$

donde:

Q = Caudal de gas. En la condición más crítica.  $14.550 \frac{Pies^3}{hr}$

D = Diámetro interno de la tubería, pulg.

$P_1$  = Presión de entrada, 39.6 psia.

$P_2$  = Presión de salida del extremo más alejado, 37.6 psia.

$Y$  = Factor de superexpansibilidad = 1/factor de supercompresibilidad =

$$\frac{1}{0,97} = 1,03 \text{ (Anexo E).}$$

$C_r$  = Factor por viscosidad, densidad y temperatura.

$$= 0,00354 \text{ S.T.} \left( \frac{Z}{S} \right)^{0,152} \quad \text{Ecuación (13)}$$

$S$  = Gravedad específica del gas, 0,5679

$T$  = Temperatura absoluta

$$= t + 460$$

$t$  = Temperatura, 60°F

$Z$  = Viscosidad del gas, 0,012 Cp (Anexo F)

$L$  = Longitud de la tubería, 196,9 pies.

Calculando para determinar el valor del factor  $C_r$ : Según ecuación (13).

$$C_r = 0,00354 \times 0,5679 \times 520 \cdot \left( \frac{0,012}{0,5679} \right)^{0,152}$$

$$C_r = 0,5817$$

Ahora reemplazamos en la ecuación (12) y despejamos  $D$ .

$$14.550 = 2237 D^{2,623} \times \left[ \frac{(39.6^2 - 37.6^2) \times 1,03}{0,5817 \times 196,9} \right]^{0,541}$$

$$D^{2,623} = 5,45$$

$$D = 1,908 \text{ Pulg. (48 mm)}$$

Según los datos del Anexo G, obtenemos un diámetro interno estándar de:  $D = 49,2$  mm., que es el correspondiente a una tubería de acero comercial Sched 40 con las especificaciones dadas en el Anexo G.

### **6.3. DETERMINACIÓN DEL TIRO EN EL HORNO**

La resistencia opuesta a la corriente gaseosa por rozamiento a lo largo de un tubo o conducto puede calcularse aproximadamente basándose en las numerosas investigaciones realizadas sobre el tema. Se han propuesto multitud de fórmulas empíricas, muchas de las cuales se basan en que la caída de presión es función del tipo de superficie, de la velocidad y del perímetro bañado por los gases. Las ecuaciones comunmente usadas en hidráulica, han sido aplicadas con éxito, teniendo en cuenta la introducción en el cálculo, los índices de Reynolds y la viscosidad, con el propósito de obtener una mayor precisión.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, consideraremos los cálculos para la determinación del tiro a través de los ductos de humos, en la ecuación de Darcy-Weisbach<sup>10</sup>, que expresa lo siguiente:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = f \frac{L V^2}{D 2g}, \quad \text{Ecuación (14)}$$

Donde:  $\Delta P$  = Pérdida por fricción o rozamiento a través del ducto.

$\gamma$  = Peso específico de los gases de combustión.

$f$  = Factor de fricción.

$L$  = Longitud de los conductos.

$D$  = Diámetro del tubo, o diámetro hidráulico en los conductos de sección rectangular.

$V$  = Velocidad de los humos en el ducto, 5 m/sg.

$g$  = Constante gravitacional;  $g = 9.81 \text{ m/sg}^2$ .

Ahora determinamos los valores correspondientes a las variables de la ecuación anterior.

---

<sup>10</sup> STREETER, Víctor L. Mecánica de los fluidos. 8<sup>a</sup> Ed. Edit. Mc. Graw Hill. Santafé de Bogotá. 1988. p. 219.

*Factor de Fricción:* El valor de esta factor se obtiene mediante el diagrama de Moody (Anexo H), teniendo en cuenta el número de Reynolds, y la rugosidad relativa existentes en los ductos.

$$R_e = \frac{D_e V}{\nu}, \text{ donde: } \nu = 27,2 / 10^{-6} \frac{m}{sg^2} \text{ (Anexo J)}$$

El diámetro equivalente se define como:

$$D_e = 4 R_H = 4 \frac{\text{Área Sección transversal}}{\text{Perímetro humedo}}$$

$$A = 0,7 \text{ m}^2 \text{ (para las dimensiones del colector)}$$

$$P = 2(0,7) + 2(1,0) = 3,4 \text{ m}$$

$$\text{O sea: } D_e = 4 \frac{(0,7)}{3,4}$$

$$\text{Donde: } D_e = 0,824 \text{ m.}$$

Calculando el número de Reynolds, tenemos:

$$R_e = \frac{0,824 * 5}{27,2 * 10^{-6}},$$

$$R_e \approx 151.500 \text{ (Turbulencia completa)}$$

Considerando la zona de ductos rugosos, y un fluido de turbulencia completa a través de ellos, determinamos aproximadamente:

$$f = 0,09$$

*Longitud de los ductos:*

- Longitud del Colector: 60 m.
- Longitud de Conductos:  $4 * (5\text{m}) = 20 \text{ m}$ .
- Longitud equivalente de: Codos, desviaciones, válvulas y otros.

<b>Accesorios</b>	<b>Cantidad</b>	<b>K<sup>11</sup></b>	
Codos rectos 90°	4	0,5	= 4(0,5)
Entradas y salidas abruptas	8	0,5	= 8(0,5)
Válvulas campanas	3	5,0	= 3(5,0)
Desviaciones	2	0,75	= 2(0,75)
			<hr/>
			K <sub>T</sub> = 22,5

---

<sup>11</sup> CARRIER. Manual de Aire Acondicionado. p. 2-46.

La longitud equivalente se determina así:

$$L_e = \frac{K_T * D_e}{f}, \text{ (considerando el diámetro del colector)}$$
$$= \frac{22,5 * (0,824)}{0,09}$$

donde:  $L_e = 206 \text{ m}$ .

La longitud total en los ductos expresada en metros es:

$$L_T = 60 \text{ m} + 20 \text{ m} + 206 \text{ m}$$

$$L_T = 286 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación (14), tendremos:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = 0,09 * \frac{286}{0,824} * \frac{(5)^2}{2(9,81)}$$

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = 39,8$$

O sea,  $\Delta P = 39,8 * (0,850)$

$$\Delta P = 33,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \text{ (si } \frac{1\text{Kg}}{\text{m}^2} \approx 1,033 \text{ mm H}_2\text{O)}$$

Tendremos entonces:

$$\Delta P = 33,9 * 1,033 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$\Delta P = 35,0 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Ahora, se tiene que dentro de la cámara de combustión se debe mantener un ligero vacío o una pequeña de presión, de valor aproximada a  $-2 \text{ in H}_2\text{O}$ , o sea, unos  $50 \text{ mm H}_2\text{O}$ , con esto se tendrá:

$$P_1 - P_2 = \Delta P$$

$$-50 \text{ mm H}_2\text{O} - P_2 = 35,0 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_2 = -50 \text{ mm H}_2\text{O} - 35,0 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Donde  $P_2 = -85,0 \text{ mm H}_2\text{O}$

#### **6.4. VÁLVULAS REGULADORAS**

La válvula es del tipo campana, capaz de regular la salida de los hornos, a una temperatura máxima de  $350^\circ\text{C}$ . Los humos presentan características de altamente corrosivas y abrasividad moderada. La válvula deberá sellar o cerrar un área de  $0.14 \text{ m}^2$ , para regular un volumen de humo de  $2.490 \text{ m}^3/\text{hr}$ . Esta válvula está sometida a una presión de  $-86 \text{ mm H}_2\text{O}$ . El método de accionamiento deberá ser manual.

## **6.5. SELECCIÓN DEL MORTERO**

**Repel X:** Este es un mortero refractario silico-aluminoso, húmedo, de fraguado al aire. De acuerdo a su composición química es recomendado para mampostería de los ladrillos UA-20.

**Universal:** Este es un mortero refractario silico-aluminoso, seco, de fraguado térmico. Se recomienda ser usado con los ladrillos U-30.

Las características químicas y otras propiedades de estos morteros se encuentran en el Anexo K.

## **6.6. SELECCIÓN DE TERMOCUPLAS**

- **Interior del horno:** Basándonos en las condiciones térmicas del horno, ( $T_i = 1100^\circ\text{C}$ ) y las atmósferas que en él se presentan durante el proceso de la cochura, fue seleccionada una termocupla tipo K, de cromel – alumel, la cual es recomendada para trabajar en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 y  $1250^\circ\text{C}$ .

**- Temperatura de los gases de la chimenea:** La temperatura de salida de los gases de la chimenea es de unos 100 a 150°C, con lo cual se seleccionó una termocupla tipo T, de cobre – constantán, que tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras, que se presentan en las chimeneas y ductos de gases de la combustión. El rango de temperaturas de trabajo de ésta, oscila entre –200 a +260°C.

Para las atmósferas reductoras en el horno, éstas termocuplas deberán ser protegida con un tubo de protección. (Anexo L).

## **6.8. SELECCIÓN DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO**

El ventilador seleccionado es de tipo centrifugo, capaz de manejar un volumen de humos de 2.500 m<sup>3</sup>/hr, y trabajar a una temperatura máxima de 350°C y a una presión de 150 mm H<sub>2</sub>O.

Las características de los materiales de dicho ventilador deberán suplir las condiciones de abrasividad y corrosividad de los gases de combustión que va a manejar.

## **7. OPERACIÓN DEL HORNO**

### **7.1. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN**

- Antes de colocar el horno en operación o funcionamiento, se deben tomar las referencias anotadas en este trabajo, para cualquier instrucción especial. La seguridad y los riesgos contra la salud de todas las personas que estén en el contorno del sistema deben ser considerados.
- El llenado de las cámaras del horno, es en forma manual, y la colocación o disposición de las piezas cerámicas debe realizarse como lo indica el Anexo M.
- Es necesario que al llenar las cámaras, la carga deje libre, aproximadamente, un tercio de la sección transversal de la galería.
- La colocación techo provisional del horno debe realizarse según la configuración explicada en la Figura 18.

- Las puertas laterales del horno serán selladas temporalmente por dos paredes de ladrillos, dejando entre ellas una capa de aire. Las capas de ladrillos en su superficie externa deben ser empañotadas con arcilla para tapar las fisuras que hallan quedado en su cierre y evitar la salida de los gases por esta zona.
- Colocar el equipo de quemadores encima de la cámara en donde se iniciará el proceso de cocción a las piezas.
- Conectar el sistema de quemadores a sus respectivos alimentadores eléctricos y de gas para iniciar el proceso.
- Una vez situado el grupo en el horno, conectadas las mangueras eléctricas y de gas al grupo, e introducidos los inyectores en sus correspondientes boquillas, se procede a su puesta en marcha, accionando el interruptor del ventilador (comprobar que el motor gire en su dirección correcta) y a continuación, el interruptor de las válvulas automáticas de aire y gas.
- El fuego se enciende manualmente o mediante un piloto, o chispa eléctrica que viene en forma adicional a la compra del equipo.

## **Proceso de Cochura.**

- Se empezará la cochura en la cámara número 1, teniendo en cuenta las velocidades de combustión indicadas para el proceso y atendiendo a la curva de calentamiento prefijada para las piezas (Figura 8).
- Después de lograr la cocción de las piezas correspondientes a la cámara 1, se trasladará la llama a la cámara 2. En este, no se necesitará encendido mediante pilotos o chispa, porque al permitir la salida de gas dentro de la cámara, con la incandescencia de los ladrillos vecinos ( $T_i = 1000^{\circ}\text{C}$ ), el fuego se encenderá automáticamente.
- Después de haber pasado la primera vuelta de cochura en el horno, el proceso se normalizará de la siguiente forma:
  - Cuando la cámara 2 está vacía, la cámara número 3 se está vaciando, los números 4, 5, 6, 7 y 8, se están enfriando con ayuda de aire que entra a través de las cámaras abiertas (cámaras números 1, 2 y 3), este aire caliente entra en la cámara número 9 donde la cochura es casi completa, y la número 10 y se encuentran bajo cochura fuerte gracias al combustible que se introduce desde el techo.

Los gases calientes procedentes de estas cámaras y del ventilador de alimentación de aire de cochura pasan a las cámaras número 11 y 12, llevándolas sucesivamente al rojo, con lo cual el combustible se asciende una vez añadido. Cuando los gases de combustión se han enfriado a unos 150°C (302°F) pasan al conducto de humos números 13, 14, 15. Entre las cámaras número 15 y 16 hay un tabique de papel que ayuda a mantener el tiro en la dirección correcta. Se dispone también de un tabique temporal entre la número 16 y la número 1, perforándose el existente entre las cámaras números 15 y 16 y sellándose la compuerta de la cámara número 16. En este momento la cámara número 3 debe estar vacía y la número 4 suficientemente fría para poder vaciarse, en tanto que el fuego principal corresponderá a las cámaras 11, 12 y 13.

**Terminación de la Cochura.** Hay métodos diversos para estimar cuando está terminada la cochura. El encargado del horno la puede estimar de acuerdo con la práctica adquirida y métodos más o menos empíricos, o basados en las curvas de cocción, las temperaturas alcanzadas y el tiempo del proceso.

**Descarga de las Cámaras y Selección de los Ladrillos.** No es conveniente adelantar el momento de la descarga de las cámaras, generalmente se hace a los tres o cuatro días de abiertas las puertas.

Primero se retiran las piezas de encima por la parte alta del horno y el resto se saca por las puertas. En esta extracción se hace una selección preliminar, desechando las piezas rotas, las fundidas y las crudas.

Los ladrillos buenos se apilan por lechos, de modo que sea fácil su recuento.

Una vez vacía la cámara, se carga inmediatamente, para aprovechar el calor que conserva aún en su interior las paredes.

## **8. MANTENIMIENTO**

### **Paredes y Pisos del Horno.**

- Las paredes del horno requieren cuidado especial debido a los choques térmicos que se presentan antes, durante y después de cada proceso de cochura, al igual que el contacto directo con la llama, al desgaste por abrasión debido a los gases de combustión, al contacto con los materiales que son introducidos y extraídos del horno.
- Revisar cuidadosamente los ladrillos que conforman las paredes, con el propósito de observar las anomalías que estos puedan poseer o deterioro de estos, y posteriormente realizar el reemplazo de la pieza.
- Revisar las juntas de morteros, si se han suavizado o desintegrado, o se han abierto grietas. Si estas se han dado, se aconseja eliminar o cortar el mortero defectuoso y reemplazarlo con mortero apropiado del diseño.

- Limpiar continuamente las paredes del horno y especialmente el piso para después de cada cochura.

### **Sistema de Quemadores.**

- Comprobar que no existan fugas de gas en el sistema.
- Limpiar continuamente las toberas de gas y las válvulas.
- Revisar en forma periódica las mangueras de gas y los adaptadores.
- Verificar el funcionamiento de los manómetros.
- Verificar estanqueidad de las electroválvulas y los circuitos eléctricos.
- Revisar las puntas de los quemadores.

### **Válvulas de control de los humos.**

- Revisar su buen funcionamiento en forma periódica.
- Observar el estado superficial producido por los gases de combustión.
- Los cierres de las válvulas tienen que ser inspeccionados a menudo durante su funcionamiento. Por lo general, se aconseja hacerlo solo una vez al año, pues el acceso a los mismos es penoso y hay que aprovechar un paro en el funcionamiento del horno.

## **Ductos.**

- Revisar los ductos de los gases de combustión.
- Realizar una limpieza general a todos los ductos del sistema (colectores y chimeneas).

## **Mantenimiento de Ventiladores.**

- Revisar que no existen vibraciones excesivas.
- Comprobar nivel de lubricación y cerciorarse de que no haya mucho escurrimiento.
- Revítese todas las uniones atornilladas o remachadas, particularmente en las chumaceras, coples, base del motor y cimentación.
- Revítese la tensión adecuada de las bandas de transmisión.
- Obsérvese la condición general de la unidad. Examínese si hay acumulación de suciedad, especialmente en el motor.
- Comprobar que no haya señales de corrosión.

*Recomendación:* Es primordial, en cuanto sea posible, que el ventilador sea instalado en una buena cimentación, rígida y nivelada. Con esto se logrará un

alineamiento permanente del ventilador y del equipo de transmisión de fuerza y se evita una liberación de la vibración excesiva.

Para la cimentación se aconseja un vaciado de concreto, bajo el ventilador y todos los componentes de la transmisión.

El peso de la base de concreto para el ventilador debe ser por lo menos tres veces el peso total del equipo.

## 9. CONCLUSIÓN

Al culminar el proyecto “DISEÑO DE UN HORNO DE LADRILLOS CERÁMICOS UTILIZANDO GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO”, se puede decir que se cumplieron a cabalidad con los objetivos que se habían propuesto inicialmente.

El horno diseñado posee las dimensiones y los elementos que garantizan su buen funcionamiento para la capacidad estipulada.

En el horno se podrán realizar la cochura a piezas cerámicas destinadas únicamente al sector de la construcción, como lo son ladrillos huecos y macizos y tejas en barro.

Con el diseño del horno se lograrán mejores condiciones ambientales, con la utilización de un combustible que no produzca muchos contaminantes y la selección y utilización del equipo que garantiza una quema o combustión completa de éste.

Todos los dispositivos acoplados en el horno fueron seleccionados en forma adecuada para que cumpliera con las exigencias y en concordancia con las

recomendaciones dadas por las normas y las publicaciones especializadas con el proceso.

La gran importancia del proyecto está en proveer a la industria ladrillera de un horno que cumpla con las exigencias en la fabricación de un producto muy utilizado y que presenta una gran demanda en el sector de las construcciones civiles.

## BIBLIOGRAFÍA

ASTIGARRA, Julian. Hornos Industriales de Resistencia. Barcelona España.: Mc. Graw Hill, 1994. p. 80-81.

AVGUSTINIK, A.I. Cerámica. 2ª ed. Barcelona: Reverté, 1983. 320 p.

BAUMESITER, Theodore. Manual del Ingeniero Mecánico de Marks. 2ª ed. México. Mc. Graw Hill, 1988. p. 60-63

CONSIDINE, Douglas M. Técnicas del Gas Natural. Marcombo. 1987.

CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial. 5ª ed. 1995. p.731.

Dimensiones modulares de Ladrillos Cerámicos. Santafé de Bogotá. Icontec., 1974. 7 p. NTC. 451.

GREENE, Richard W. Válvulas. Selección, Uso y Mantenimiento. 1ª ed. Santafé de Bogotá.: Mc. Graw Hill. 1992. 150 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Normas Colombianas para presentación de Tesis de Grado. Santafé de Bogotá D.C.: Icontec., 1998. 132 p. NTC. 1486.

KARLEKAR, V.; DESMOND, R. Transferencia de Calor. México. 2ª ed. Nueva Editorial Interamericana, 1985. 785 p.

KERN, Donal. Procesos de Transferencia de Calor. México. Compañía Editorial Continental. 1995. 950 p.

La Cadena del Gas Natural. Explotación y Tratamiento. Surtigas E.S.P. Cartagena. Documento No. 2. 199.

MARQUÉZ MARTINEZ, Manuel. Combustión y Quemadores. Editorial: Marcombo S.A. 1ª ed., 1989. p. 159.

MC CABE, Warren; SMITH, Julian. Operaciones Basicas de Ingenieria Química. Madrid. Reverté, 1978. 778 p.

MORROW, L.C. Manual de Mantenimiento Industrial. Tomo II. Continental S.A.

REVERTÉ, Pedro. La Industria Ladrillera. Editorial: Mc. Graw Hill. 2ª ed. Santafé de Bogotá. 1992. 338 p.

SINGER, Felix; SINGER, Sonjas. Cerámica Industrial. Vol. I, II, III. Editorial: Urmo S.A. 1ª ed. en español, 1976.

STREETER, Victor L.; WYLIE, Benjamin. Mecánica de los Fluidos. 8ª ed. Editorial: Mc Graw Hill. México. 1988. 594 p.

## **Anexo D. Equipo Quemador**

### **Información Técnica General sobre el Grupo de Quemados de Gas con Aire Forzado**

#### **Descripción (Funcionamiento)**

Con este grupo de inyectores de gas con aire forzado, se obtienen los mejores rendimientos, proporcionando un gran ahorro de combustible influyendo notablemente en la economía, y debido a una perfecta combustión no contamina la atmósfera, siendo ideal para cualquier tipo de horno.

Este grupo calefactor de quemadores de gas con aire forzado, consta de un colector de gas del que salen ramales a cada uno de los inyectores. El gas entre en el colector, procedente de una red de distribución, a través de una válvula de selenoide todo o nada, que solo esta abierta cuando funciona el ventilador, cerrándose cuando éste se para y también se cierra cuando los aparatos de pirometría lo manden, sin necesidad de que se pare el ventilador. El ventilador manda el aire a un colector de aire, para de aquí pasar a cada uno de los inyectores a través de su válvula de corte y

el correspondiente conducto. Entre el ventilador y el colector hay una válvula automática de aire. Todo esto va soportado por un chasis que puede ser fijo o portátil. Cada inyector va provisto de un manómetro que mide la presión de inyección de gas, una válvula reguladora y una tobera de inyección.

Los dibujos adjuntos muestran esquemáticamente el grupo de gas, de los cuales nos auxiliamos para explicar su funcionamiento.

En la Figura 1 vemos que el gas procedente de la red de distribución pasa por el conducto (10) y la válvula de selenoide (9) al colector de gas (8), para de aquí pasar a cada uno de los inyectores (1) a través de los correspondientes conductos (2). El aire procedente del ventilador (5) pasará por la válvula automática (6) al colector de aire (7), para de aquí pasar a cada uno de los inyectores (1) a través de la correspondiente válvula de corte (4), y el conducto (3).

En la Figura 2 vemos la posición de trabajo del quemador, que el tubo conductor del aire (13) está introducido en la boquilla (22) del horno (21); dentro de este tubo y concéntrico con él, va otro tubo conductor de gas (12), ambos tubos terminan en dos toberas de inyección. La tobera de inyección del gas es regulada su posición por medio de los tornillos exteriores (17). La situación de ambas toberas respecto de la boquilla (22) del horno (21), es regulado por medio de los tornillos de fijación (15).

También va provisto el inyector de una válvula reguladora de presión (19) del gas y un manómetro (18). El inyector es soportado por una base de apoyo (14). El gas entra por el conducto (20), y el aire por el cuerpo del inyector (16).

## **NOTAS**

- Temperatura mínima de funcionamiento de los inyectores 800°C.
  
- No tener más de 10 minutos los inyectores introducidos en las boquillas sin alimentación de aire.

### Anexo N. Dimensiones Modulares de Ladrillos Cerámicos

LADRILLO No.	MEDIDAS (Cm.)	PESO (Kg.)
3	8X20X39	4
4	10X20X39	6
6	12,5X20X39	7,5
6 ESP.	15X20X39	8,5
8	20X20X39	11,5
PANELA	4X15X30	3
TOLETE	6X12X24	3
TEJA	ESPAÑOLA	2